



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 101 35 851.2

Anmeldetag: 23. Juli 2001

Anmelder/Inhaber: LuK Lamellen und Kupplungsbau Beteiligungs KG,
Bühl, Baden/DE

Bezeichnung: Messeinrichtung und Messverfahren für ein
Kraftfahrzeug

IPC: B 60 K 41/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 28. Juni 2002
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Faust

LuK Lamellen und Kupplungsbau
Beteiligungs KG
Industriestraße 3
77815 Bühl

GS 0551

Patentanspruch

- 5 Messeinrichtung und Messverfahren für ein Kraftfahrzeug, insbesondere mit einem Antriebsmotor, einem Drehmomentübertragungssystem und einem Getriebe im Antriebsstrang, gekennzeichnet durch mindestens eines in den nachfolgenden Anmeldungsunterlagen enthaltenen Merkmale oder durch eine Kombination von mindestens zwei dieser Merkmale.

LuK Lamellen und Kupplungsbau
Beteiligungs KG
Industriestraße 3
77815 Bühl

GS 0551

Messeinrichtung und Messverfahren für ein Kraftfahrzeug

5

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Messeinrichtung und ein Messverfahren für ein Kraftfahrzeug.

10

Gemäß Figur 1 weist ein Fahrzeug 1 eine Antriebseinheit 2, wie einen Motor oder eine Brennkraftmaschine auf. Weiterhin sind im Antriebsstrang des Fahrzeuges 1 ein Drehmomentübertragungssystem 3 und ein Getriebe 4 angeordnet. In diesem Ausführungsbeispiel ist das Drehmomentübertragungssystem 3 im Kraftfluss zwischen Motor und Getriebe angeordnet, wobei ein Antriebsmoment des Motors über das Drehmomentübertragungssystem 3 an das Getriebe 4 und von dem Getriebe 4 abtriebsseitig an eine Abtriebswelle 5 und an eine nachgeordnete Achse 6 sowie an die Räder 6a übertragen wird.

15

20

Das Drehmomentübertragungssystem 3 ist als Kupplung, wie z. B. als Reibungskupplung, Lamellenkupplung, Magnetpulverkupplung oder Wandlerüberbrückungskupplung, ausgestaltet, wobei die Kupplung eine selbsteinstellende oder eine verschleißausgleichende Kupplung sein kann. Das Getriebe 4 ist ein umschaltbares Schaltgetriebe (USG). Entsprechend des erfindungsgemäßen Gedankens kann das Getriebe auch ein automatisiertes

- Schaltgetriebe (ASG) sein, welches mittels zumindest eines Aktors automatisiert geschaltet werden kann. Als automatisiertes Schaltgetriebe ist im weiteren ein automatisiertes Getriebe zu verstehen, welches mit einer Zugkraftunterbrechung geschaltet und der Schaltvorgang der
- 5 Getriebeübersetzung mittels zumindest eines Aktors angesteuert durchgeführt wird.

- Weiterhin kann als USG auch ein Automatgetriebe Verwendung finden, wobei ein Automatgetriebe ein Getriebe im wesentlichen ohne Zugkraftunterbrechung bei den Schaltvorgängen ist und das in der Regel durch Planetengetriebestufen aufgebaut ist.
- 10

- Weiterhin kann ein stufenlos einstellbares Getriebe, wie beispielsweise Kegelscheibenumschlingungsgetriebe eingesetzt werden. Das Automatgetriebe
- 15 kann auch mit einem abtriebsseitig angeordneten Drehmomentübertragungssystem 3, wie eine Kupplung oder eine Reibungskupplung, ausgestaltet sein. Das Drehmomentübertragungssystem 3 kann weiterhin als Anfahrkupplung und/oder Wendesatzkupplung zur Drehrichtungsumkehr und/oder Sicherheitskupplung mit einem gezielt ansteuerbaren übertragbaren Drehmoment ausgestaltet sein. Das
- 20 Drehmomentübertragungssystem 3 kann eine Trockenreibungskupplung oder eine nass laufende Reibungskupplung sein, die beispielsweise in einem Fluid läuft. Ebenso kann sie ein Drehmomentwandler sein.

- 25 Das Drehmomentübertragungssystem 3 weist eine Antriebsseite 7 und eine Abtriebsseite 8 auf, wobei ein Drehmoment von der Antriebsseite 7 auf die Abtriebsseite 8 übertragen wird, indem z. B. die Kupplungsscheibe 3a mittels der Druckplatte 3b, der Tellerfeder 3c und dem Ausrücklager 3e sowie dem Schwungrad 3d kraftbeaufschlagt wird. Zu dieser Beaufschlagung wird der

Ausrückhebel 20 mittels einer Betätigungseinrichtung, z. B. einem Aktor, betätigt.

Die Ansteuerung des Drehmomentübertragungssystems 3 erfolgt mittels einer
5 Steuereinheit 13, wie Steuergerät, welches die Steuerelektronik 13a und den Aktor 13b umfassen kann. In einer anderen vorteilhaften Ausführung können der Aktor 13b und die Steuerelektronik 13a auch in zwei unterschiedlichen Baueinheiten, wie Gehäusen, angeordnet sein.

10 Die Steuereinheit 13 kann die Steuer- und Leistungselektronik zur Ansteuerung des Antriebsmotors 12 des Aktors 13b enthalten. Dadurch kann beispielsweise vorteilhaft erreicht werden, dass das System als einzigen Bauraum den Bauraum für den Aktor 13b mit Elektronik benötigt. Der Aktor 13b besteht aus dem Antriebsmotor 12, wie z. B. einem Elektromotor, wobei der Elektromotor 12
15 über ein Getriebe, wie z. B. ein Schneckengetriebe oder ein Stirnradgetriebe oder ein Kurbelgetriebe oder ein Gewindespindelgetriebe, auf einen Geberzylinder 11 wirkt. Diese Wirkung auf den Geberzylinder 11 kann direkt oder über ein Gestänge erfolgen.

20 Die Bewegung des Ausgangsteiles des Aktors 13b, wie z.B. des Geberzylinderkolbens 11a, wird mit einem Kupplungswegsensor 14 detektiert, welcher die Position oder Stellung oder die Geschwindigkeit oder die Beschleunigung einer Größe detektiert, welche proportional zur Position bzw. Einrückposition respektive der Geschwindigkeit oder Beschleunigung der
25 Kupplung ist. Der Geberzylinder 11 ist über eine Druckmittelleitung 9, wie z.B. Hydraulikleitung, mit dem Nehmerzylinder 10 verbunden. Das Ausgangselement 10a des Nehmerzylinders ist mit dem Ausrückmittel 20 z.B. einem Ausrückhebel wirkverbunden, so dass eine Bewegung des Ausgangsteiles 10a des Nehmerzylinders 10 bewirkt, dass das Ausrückmittel

20 ebenfalls bewegt oder verkippt wird, um das von der Kupplung 3 übertragbare Drehmoment anzusteuern.

Der Aktor 13b zur Ansteuerung des übertragbaren Drehmoments des

- 5 Drehmomentübertragungssystems 3 kann druckmittelbetätigbar sein, d.h., er kann einen Druckmittelgeber- und Nehmerzylinder aufweisen. Das Druckmittel kann beispielsweise ein Hydraulikfluid oder ein Pneumatikmedium sein. Die Betätigung des Druckmittelgeberzylinders kann elektromotorisch erfolgen, wobei der als Antriebselement 12 vorgesehene Elektromotor 12 elektronisch
10 angesteuert werden kann. Das Antriebselement 12 des Aktors 13b kann neben einem elektromotorischen Antriebselement auch ein anderes, beispielsweise druckmittelbetätigtes Antriebselement sein. Weiterhin können Magnetaktoren verwendet werden, um eine Position eines Elementes einzustellen.

- 15 Bei einer Reibungskupplung erfolgt die Ansteuerung des übertragbaren Drehmomentes dadurch, dass die Anpressung der Reibbeläge der Kupplungsscheibe zwischen dem Schwungrad 3d und der Druckplatte 3b gezielt erfolgt. Über die Stellung des Ausrückmittels 20, wie z.B. einer Ausrückgabel oder eines Zentralausrückers kann die Kraftbeaufschlagung der
20 Druckplatte 3b respektive der Reibbeläge gezielt angesteuert werden, wobei die Druckplatte 3b dabei zwischen zwei Endpositionen bewegt und beliebig eingestellt und fixiert werden kann. Die eine Endposition entspricht einer völlig eingerückten Kupplungsposition und die andere Endposition einer völlig ausgerückten Kupplungsposition. Zur Ansteuerung eines übertragbaren
25 Drehmomentes, welches beispielsweise geringer ist als das momentan anliegende Motormoment, kann beispielsweise eine Position der Druckplatte 3b angesteuert werden, die in einem Zwischenbereich zwischen den beiden Endpositionen liegt. Die Kupplung kann mittels der gezielten Ansteuerung des
30 übertragbare Kupplungsmomente angesteuert werden, die definiert über den

momentan anstehenden Motormomenten liegen. In einem solchen Fall können die aktuell anstehenden Motormomente übertragen werden, wobei die Drehmoment-Ungleichförmigkeiten im Antriebsstrang in Form von beispielsweise Drehmomentspitzen gedämpft und/oder isoliert werden.

5

Zur Ansteuerung des Drehmomentübertragungssystems 3 werden weiterhin Sensoren verwendet, die zumindest zeitweise die relevanten Größen des gesamten Systems überwachen und die zur Steuerung notwendigen Zustandsgrößen, Signale und Messwerte liefern, die von der Steuereinheit verarbeitet werden, wobei eine Signalverbindung zu anderen Elektronikeinheiten, wie beispielsweise zu einer Motorelektronik oder einer Elektronik eines Antiblockiersystems (ABS) oder einer Antischlupfregelung (ASR) vorgesehen sein kann und bestehen kann. Die Sensoren detektieren beispielsweise Drehzahlen, wie Raddrehzahlen, Motordrehzahlen, die Position des Lasthebels, die Drosselklappenstellung, die Gangposition des Getriebes, eine Schaltabsicht und weitere fahrzeugspezifische Kenngrößen.

15

Die Fig. 1 zeigt, dass ein Drosselklappensensor 15, ein Motordrehzahlsensor 16, sowie ein Tachosensor 17 Verwendung finden können und Messwerte bzw. Informationen an das Steuergerät 13 weiterleiten. Die Elektronikeinheit, wie z.B. Computereinheit, der Steuerelektronik 13a verarbeitet die Systemeingangsgrößen und gibt Steuersignale an den Aktor 13b weiter.

20

Das Getriebe ist als Stufenwechselgetriebe ausgestaltet, wobei die Übersetzungsstufen mittels eines Schalthebels 18 gewechselt werden oder das Getriebe mittels dieses Schalthebels 18 betätigt oder bedient wird. Weiterhin ist an dem Schalthebel 18 des Handschaltgetriebes zumindest ein Sensor 19b angeordnet, welcher die Schaltabsicht und/oder die Gangposition detektiert und an das Steuergerät 13 weiterleitet. Der Sensor 19a ist am Getriebe angelenkt und detektiert die aktuelle Gangposition und/oder eine Schaltabsicht. Die

25

30

Schaltabsichtserkennung unter Verwendung von zumindest einem der beiden Sensoren 19a, 19b kann dadurch erfolgen, dass der Sensor ein Kraftsensor ist, welcher die auf den Schalthebel 18 wirkende Kraft detektiert. Weiterhin kann der Sensor aber auch als Weg- oder Positionssensor ausgestaltet sein, wobei

5 die Steuereinheit aus der zeitlichen Veränderung des Positionssignals eine Schaltabsicht erkennt.

Das Steuergerät 13 steht mit allen Sensoren zumindest zeitweise in Signalverbindung und bewertet die Sensorsignale und Systemeingangsgrößen in der Art und Weise, dass in Abhängigkeit von dem aktuellen Betriebspunkt die Steuereinheit Steuer- oder Regelungsbefehle an den zumindest einen Aktor 13b ausgibt. Der Antriebsmotor 12 des Aktors 13b, z.B. ein Elektromotor, erhält von der Steuereinheit, welche die Kupplungsbetätigung ansteuert, eine Stellgröße in Abhängigkeit von Messwerten und/oder Systemeingangsgrößen

15 und/oder Signalen der angeschlossenen Sensorik. Hierzu ist in dem Steuergerät 13 ein Steuerprogramm als Hard- und/oder als Software implementiert, das die eingehenden Signale bewertet und anhand von Vergleichen und/oder Funktionen und/oder Kennfeldern die Ausgangsgrößen berechnet oder bestimmt.

Das Steuergerät 13 hat in vorteilhafter Weise eine Drehmomentbestimmungseinheit, eine Gangpositionsbestimmungseinheit, eine Schlupfbestimmungseinheit und/oder eine Betriebszustandsbestimmungseinheit implementiert oder es steht mit zumindest

25 einer dieser Einheiten in Signalverbindung. Diese Einheiten können durch Steuerprogramme als Hardware und/oder als Software implementiert sein, so dass mittels der eingehenden Sensorsignale das Drehmoment der Antriebseinheit 2 des Fahrzeuges 1, die Gangposition des Getriebes 4 sowie der Schlupf, welcher im Bereich des Drehmomentübertragungssystems 3

30 herrscht und der aktuelle Betriebszustand des Fahrzeuges 1 bestimmt werden

können. Die Gangpositionsbestimmungseinheit ermittelt anhand der Signale der Sensoren 19a und 19b den aktuell eingelegten Gang. Dabei sind die Sensoren 19a, 19b am Schalthebel und/oder an getriebeinternen Stellmitteln, wie beispielsweise einer zentralen Schaltwelle oder Schaltstange, angelenkt und diese detektieren, beispielsweise die Lage und/oder die Geschwindigkeit dieser Bauteile. Weiterhin kann ein Lasthebelsensor 31 am Lasthebel 30, wie z.B. an einem Gaspedal, angeordnet sein, welcher die Lasthebelposition detektiert. Ein weiterer Sensor 32 kann als Leerlaufschalter fungieren, d.h. bei betätigtem Lasthebel 30 bzw. Gaspedal ist dieser Leerlaufschalter 32 eingeschaltet und bei nicht betätigtem Lasthebel 30 ist er ausgeschaltet, so dass durch diese digitale Information erkannt werden kann, ob der Lasthebel 30 betätigt wird. Der Lasthebelsensor 31 detektiert den Grad der Betätigung des Lasthebels 30.

Die Fig. 1 zeigt neben dem Lasthebel 30 und den damit in Verbindung stehenden Sensoren ein Bremsenbetätigungselement 40 zur Betätigung der Betriebsbremse oder der Feststellbremse, wie z.B. Bremspedal, einen Handbremshebel oder ein hand- oder fußbetätigtes Betätigungselement der Feststellbremse. Zumindest ein Sensor 41 ist an dem Betätigungselement 40 angeordnet und überwacht dessen Betätigung. Der Sensor 41 ist beispielsweise als digitaler Sensor, wie z. B. als Schalter, ausgestaltet, wobei dieser detektiert, dass das Betätigungselement 40 betätigt oder nicht betätigt ist. Mit dem Sensor 41 kann eine Signaleinrichtung, wie z.B. eine Bremsleuchte, in Signalverbindung stehen, welche signalisiert, dass die Bremse betätigt ist. Dies kann sowohl für die Betriebsbremse als auch für die Feststellbremse erfolgen. Der Sensor 41 kann jedoch auch als analoger Sensor ausgestaltet sein, wobei ein solcher Sensor, wie beispielsweise ein Potentiometer, den Grad der Betätigung des Bremsbetätigungselement 41 ermittelt. Auch dieser Sensor kann mit einer Signaleinrichtung in Signalverbindung stehen.

Im folgenden wird eine erfindungsgemäße Messeinrichtung zur Drehwinkelmessung in Schwingungstilgern mittels einer HALL – Sensorik erläutert.

- 5 Insbesondere soll dabei eine Möglichkeit geschaffen werden, den Verdrehwinkel eines Tilgers unter Betriebsbedingungen messen zu können. Die besondere Problematik besteht dabei in dem sehr beschränkten Bauraum, dem großen zu erfassenden Weg (Winkel) und den hohen Umgebungstemperaturen.

- 10 Erfindungsgemäß werden zwei analoge HALL – Sensor IC's zur Messbereichserweiterung verwendet, wie dies in der Figur 2 dargestellt ist.

Dabei wertet ein Signalverstärker die Differenz beider Sensorsignale aus. Daraus resultiert der große mechanische Messbereich.

15

Die Erfindung lässt sich insbesondere im Bereich Messtechnik beim Aufbau von Versuchsmustern (aktueller Stand) und in Serie beim Einbau in Schwingungstilgern (ZMS, KW – Tilger..) anwenden. Die gemessenen Sensorsignale können zur Motorsteuerung übertragen werden.

20

Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass die Hall – Sensorik im Preis/Leistungsverhältnis praktisch unschlagbar ist.

25

Nachfolgend wird die erfindungsgemäße Nutzung der zur Kommutierung einer permanent erregten Synchronmaschine notwendigen (Hall-) Sensoren als Istwertgeber eines Positionsregelkreises, z.B. einer Kraftfahrzeugkupplung, mit Hilfe einer rechnerischen, modellgestützten Auflösungsvervielfachung näher erläutert.

Für kleine Stellantriebe mit sehr hoher Leistungsdichte bieten sich permanenterregte Synchronmotoren an (siehe auch integrierte Kupplungsaktuatorik).

- 5 Aus Bauraumgründen wird elektrisch kommutiert. Diese Phasenweitschaltung muss exakt zur aktuellen Rotorposition passen, weshalb für jede Phase ein Sensor benutzt wird. In der Regel sind das Hall-Sensoren, die direkt von den Permanentmagneten erregt werden.

10

Obwohl die Position für die Kommutierung dabei exakt bestimmt werden kann, ist die Auflösung über den gesamten Umfang begrenzt. Diese Auflösung bestimmt jedoch die erreichbare Regelgenauigkeit einer Positionsregelung.

Im folgenden wird hierfür ein Beispiel gegeben:

- 15 Eine Maschine mit 10 Polpaaren erzeugt an einem Sensor pro Umdrehung 10 Sinusschwingungen. Daraus kann durch eine entsprechende Schaltung ein Rechtecksignal erzeugt werden. Nutzt man die steigende und die fallende Flanke, ergibt sich eine Winkelauflösung von 18° pro Sensor, mit 3 Sensoren also 6° . Mit einem nachgeschalteten Getriebe der Übersetzung $1\text{mm}/360^\circ$ ergibt das 0.016 mm.
- 20

25

Heutige geregelte Kupplungssysteme haben eine Regelgenauigkeit von 0.05 mm. Dieser Weg bedeutet, je nach partieller Steigung der Kupplungskennlinie bis zu 5 Nm (siehe Figur 3).

30

Untersuchungen zeigen, dass Drehmomentsprünge in dieser Größe in bestimmten Fahrsituationen störend wirken. Eine Regelgenauigkeit von 0.025 mm ist deshalb wünschenswert.

35

Da das rückgeführte Istpositionssignal ca. 10-fach genauer sein sollte als die gewünschte Regelgenauigkeit wird ersichtlich, dass die oben hergeleitete Auflösung von 0.016 mm nicht ausreicht. Sie sollte für das vorliegende Beispiel

der Regelung der Kupplungsposition vielmehr 0.0025 mm betragen. Das entspricht dem 6.4-fachen.

- 5 Eine zu den 3 Kommutierungssensoren alternative oder zusätzliche Sensorik bedeutet eine Erhöhung der Systemkosten, die vor allem bei hohen Stückzahlen schmerzlich durchschlägt.

- 10 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, eine Messeinrichtung zu schaffen, mit der eine höhere Auflösung relativ kostengünstig erzielbar ist.

Dabei besteht die erfinderische Lösung darin, die fehlende Auflösung rechnerisch zu kompensieren.

- 15 Zu diesem Zweck wird ein Streckenmodell ständig mitgerechnet, das am Beispiel der Fahrzeugkupplung gemäß Figur 4 wie folgt aussehen kann. In der Figur 4 bedeuten:

$$M_{An} = f(\omega, \Phi, R, I, U)$$

$$M_{Last} = f(i_{Getr}, \eta, F_{Ausrück})$$

$$R = f(\vartheta)$$

$$\eta = f(\vartheta)$$

$$\Phi = f(\vartheta)$$

$$F_{Ausrück} = f(\vartheta)$$

$$I = f(R, PWM)$$

- 20 Der Weg (bzw. Winkel) zwischen zwei Sensorsignalen wird in die benötigte Anzahl von Teilschritten unterteilt.

An der Position eines Sensorsignals wird (in dem vorliegenden Beispiel alle 6°) das System synchronisiert, sodass die aktuelle Drehzahl bekannt ist.

- 30 Von da ab wird mittels obigem Modell von Teilschritt zu Teilschritt

$$\dot{\omega} \longrightarrow \omega \longrightarrow \varphi$$

berechnet, bis beim nächsten Sensorsignal das System wiederum synchronisiert wird.

5 Der bei dieser Methode entstehende Positionsfehler sind von der Güte des Modells abhängig.

10 Zur Abschätzung der Größe des Fehlers wurde ein genaues Modell gegen Modelle unterschiedlicher Genauigkeit gestellt. Die Wege zwischen zwei Sensorsignalen wurden kumuliert und deren Differenz als Maß für die Abweichung benutzt.

15 Variante 1 soll vor allem dem weiteren Verständnis dienen. Das Modell besteht lediglich darin, dass die am Intervallanfang bestehende Drehzahl bis zum nächsten Sensorsignal konstant bleibt. Bei einer Anfangsdrehzahl von 0 und voller Bestromung, d.h. voller Beschleunigung, ist der Fehler am größten und entspricht genau der Auflösung der Kommutierungssensoren von 6° (Figur 5).

20 Nimmt man in einer weiteren Variante an, dass man das oben beschriebene Modell mitrechnet, jedoch zur Bestimmung des Antriebsmomentes keine Informationen über die Temperatur oder den wirklich fließenden Strom vorliegen, vermindert sich der Fehler bereits deutlich auf max. 0.86° (Figur 6).

25 Liegt der Phasenstrom durch eine Messung vor, kann der Temperatureinfluss auf den Wicklungswiderstand eliminiert werden. Dieser Einfluss ist jedoch sehr gering. Interessanter ist, durch den gemessenen Strom und die anliegende Spannung den aktuellen Wicklungswiderstand zu bestimmen und diesen als Indikator für die herrschende Temperatur zu nutzen. Diese Temperaturinformation kann dann dazu dienen, den aktuellen Fluss genauer zu schätzen. Macht man dabei einen Fehler von 30°C , vermindert sich der Fehlwinkel auf 0.35° (Figur 7).

30

Auf diese Weise wurden alle Einzeleinflüsse untersucht. Der Maximalfehler bei einer reinen Fehleraddition beläuft sich auf 1.5° oder 25 %.

In der Praxis ist dies jedoch unwahrscheinlich, da nach bisherigen Erkenntnissen die Temperatureinflüsse auf das Last- und Antriebsmoment in ihrer Wirkung gegenläufig sind und sich die Temperatureinflüsse auf das Gesamtsystem teilweise kompensieren (Figur 8).

Die Erfindung lässt sich insbesondere bei allen Anwendungsfällen der integrierten Aktorik, der automatisierten Kupplung, ASG, USG usw. anwenden. Insbesondere wird die Erfindung bei elektrischen Zentralausrückern angewendet, jede folgende Aktorik mit diesem Prinzip bei entsprechenden Anforderungen an die Regelgenauigkeit.

Nachfolgend wird ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Messung der Leerlaufdrehzahl erläutert. In der EKM-Steuerung ist die Kenntnis der momentanen Leerlaufdrehzahl (nominelle Leerlaufdrehzahl) notwendig. Diese wird u. a. für die Auswertung der Anfahrkennlinien beim Anfahren und Kriechen benötigt. Die nominelle Leerlaufdrehzahl wurde bisher entweder in Abhängigkeit von der vorliegenden Motortemperatur aus einer Kennlinie bestimmt oder sie lag direkt über CAN vor. Es sollte die Motortemperatur aus der Motorsteuerung (EEC) als PWM-Signal erhalten werden. Um den zusätzlichen Einbauaufwand eines Motortemperatursensors zu umgehen, wurde eine Strategie entwickelt, mit deren Hilfe die nominelle Leerlaufdrehzahl auch ohne Kenntnis der Motortemperatur aus der momentanen Motordrehzahl adaptiert werden kann.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Messung der nominellen Leerlaufdrehzahl ohne vorliegendes Motortemperatursignal zu schaffen.

Ausgehend von der nominellen Leerlaufdrehzahl im kalten Zustand wird dabei gemäß der Erfindung die nominelle Leerlaufdrehzahl in den Zuständen 4 (Neutral) und 7 (Anfahren) für bestimmte Betriebszustände (u.a. Kupplung offen, Leerlaufschalter betätigt) dekrementiert, falls die aktuelle Motordrehzahl die

nominelle Leerlaufdrehzahl um einen bestimmten Betrag unterschreitet. Dieses Verfahren wird mehrstufig angewandt. Durch diese Strategie wird eine asymptotische Annäherung der nominellen Leerlaufdrehzahl an die reale Leerlaufdrehzahl erreicht.

5

Die Erfindung lässt sich insbesondere bei allen EKM/AK anwenden, falls die Leerlaufdrehzahl nicht über CAN erhalten wird.

10

Im folgenden werden eine Messeinrichtungen und ein Messverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung näher erläutert, bei denen die Dauer der Neutralphasenzeit ermittelt wird.

15

Beim ASG-Steuercode wird gegebenenfalls bei Zugrückschaltungen mit Zwischengas gearbeitet. Dabei wird während der Neutralphase (Kupplungszustand 4: Neutral erkannt) über einen Motoreingriff die Motordrehzahl auf die zu erwartende Zieldrehzahl (Synchronisationsdrehzahl) angehoben, wie dies später unter dem Absatz „Drehzahlanhebung“ näher erläutert wird.. Die Drehzahlerhöhung wird über einen mathematischen Zusammenhang (z.B. Polynom 3. Ordnung) vorgegeben. Die Vorfaktoren der Polynome werden durch Rand- und/oder Übergangsbedingungen bestimmt. Dazu ist die Kenntnis der Dauer der Neutralphase notwendig. Diese Dauer unterscheidet sich zunächst in Abhängigkeit des vorgesehenen Gangwechsels (Neutralphase $2 \rightarrow 1$ ist kürzer als Neutralphase bei $3 \rightarrow 2$). Andererseits kann sich die Dauer der Neutralphase auch durch andere Einflüsse (Alterung der Getriebemotoren, Temperatur, erhöhte Reibung etc.) ändern. Dadurch wird die Zieldrehzahl nicht genau erreicht und es muss mehr Synchronisierarbeit geleistet werden, was wiederum den Schaltvorgang verlängert. Diese unerwünschten Auswirkungen können vermieden werden, indem diese Änderungen durch eine Adaption der Neutralphasendauern erfasst und berücksichtigt werden.

20

25

30

Im Zusammenhang mit der Adaption der Neutralphasendauer für verschiedene Rückschaltungen (z.B. $2 \rightarrow 1$, $3 \rightarrow 1$, $4 \rightarrow 1$, $5 \rightarrow 1$, $3 \rightarrow 2$, $4 \rightarrow 2$, $5 \rightarrow 2$, $4 \rightarrow 3$, $5 \rightarrow 3$, und $5 \rightarrow 4$). werden aufgabengemäß jeweils die Neutralphasendauern (Dauer von Kupplungszustand 4) ermittelt. Über einen geeigneten Algorithmus (z.B.

- 5 Mittelung, Filterung) ergibt sich somit für jede Schaltungsart ein adaptierter Wert für die Neutralphasendauer, der langfristige Änderungen der Neutralphasendauer beinhalten.

10 Die Erfindung wird insbesondere bevorzugt bei allen ASG Fahrzeugen angewendet.

Bei den Zurückschaltungen wird eine Drehzahanhebung durch die folgende Vorgehensweise erzielt.

15

1. Berechnung der Zielmotordrehzahl n_2 aus Raddrehzahlen und neuer Gangübersetzung

2. Randbedingungen zur Anpassung der Konstanten (hier Polynom 3. Ordnung)

$$n(t_2) = a (t_2 - t_1)^3 + b (t_2 - t_1)^2 + c (t_2 - t_1) + d$$

RB:	$n(t_1) = n_1$	Motordrehzahl vor Gangwechsel
	$dn(t_1)/dt = 0$	Gradient der Motordrehzahl vor Gangwechsel
	$n(t_2) = n_2$	Zielmotordrehzahl
	$dn(t_2)/dt = 0$	Gradient der Zielmotordrehzahl

25

3. Entweder Übergabe des Drehzahlverlaufs an Motorsteuerung oder Berechnung des erforderlichen Motorsollmoments aus der Sollmotordrehzahl mit anschließender Übergabe an Motorsteuerung
Berechnung des Motorsollmoments aus dynamischem Gleichgewicht

5
$$M_{\text{mot_soll}} = J_{\text{mot}} d(\omega_{\text{soll}})/dt$$

mit:
$$\omega_{\text{soll}} = 2\pi n_{\text{soll}}(t)/60$$

4. Option:

Beeinflussung der Motordrehzahl durch Motormomenteneingriff auch über Neutralphase hinaus, damit Gleichheit von Motor- und Getriebeeingangsdrehzahl vor Kupplungseingriff erreicht wird.

10 Im folgenden wird eine erfindungsgemäße Messeinrichtung zur Messung des Ankerwiderstandes mit kleinen Spannungen zur Rekalibrierung der Drehzahlmessung mit dem E-Motorstrom am Kupplungsaktor erläutert.

15 Im Zusammenhang mit der eindeutigen Erkennung der Position des Kupplungsaktors wurde die Idee gefasst, den Motorstrom als Funktion der Drehzahl zu verwenden. Insbesondere der durch die Motordrehung induzierte Strom I_{ind} ist dabei ein recht gutes Signal.

20
$$n \propto I_{\text{ind}} = \frac{U_{\text{ind}}}{R_A} = \frac{U}{R_A} - I$$

Hierfür ist es aber erforderlich den Ankerwiderstand R_A möglichst genau zu kennen.

25 Der Ankerwiderstand R_A hängt dabei von der Temperatur der Ankerwicklungen ab. Zudem können hier noch Alterungseffekte durch die Abnutzung der Bürsten (Kohlebürsten am Kommutator) auftreten. Es ist daher erforderlich den Ankerwiderstand in regelmäßigen Abständen zu
30 messen.

Die Messung des Anlaufstromes ist zeitkritisch. Es steht nur ein kleines Zeitfenster zur Verfügung, in dem der Motor noch so langsam dreht, dass es bei der Strommessung wie Stillstand aussieht. Damit kann die Qualität der Messung nicht durch eine Tiefpass-Filterung verbessert werden.

5

Zudem befindet sich der Motor dabei nicht in einem stationären Zustand. Die Ankerinduktivität geht daher in die Messung ein.

10

Die Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, eine Methode zu finden, mit der der Ankerwiderstand einfach und zuverlässig direkt vor jeder Positions-Reinitialisierung gemessen werden kann. Die Messung des Ankerwiderstandes hat dabei immer bei stehendem E-Motor zu erfolgen.

15

Nach Möglichkeit sollte für die Messung ein stationärer Zustand des Motors genutzt werden.

Die Grundfrage lautet dabei:

20

Wie kann man sicher sein, dass der Motor wirklich steht.

25

Hier kommen einem die Eigenschaften des im Kupplungsaktor verwendeten selbsthemmenden Getriebes zu gute. Dieses Getriebe sorgt immer für ein Bremsmoment, das einem etwaigen Motormoment entgegen wirkt. Wenn das durch die Motorspannung aufgebrachte Moment ($U \propto I \propto M$) kleiner ist als das Bremsmoment des Getriebes (zuzüglich der Reibung im Motor) bleibt der Motor trotz angelegter Spannung stehen.

Dabei stellt sich ein Motorstrom von:

30

$$I = \frac{U}{R_A}$$

ein. Damit kann dann R_A durch eine Strommessung bei bekannter Spannung ermittelt werden.

5

Die Ungenauigkeiten bei der Messung eines kleinen Stromes können dabei durch eine zeitliche Mittelung (Hardware-Tiefpass oder numerisch im Steuergerät) verringert werden. Aus messtechnischer Sicht hat man hier beliebig viel Zeit zur Verfügung.

10

Der Motor befindet sich in einem stationären Zustand. Die Ankerinduktivität geht nicht in die Messung ein.

Die Messung des Ankerwiderstandes kann dabei in jeder beliebigen Stellung des Kupplungsaktors erfolgen.

15

Die thermische Belastung des Motors wird gering gehalten.

Die voranstehend erläuterte Erfindung lässt sich insbesondere bei einem Kupplungsaktor mit Inkrementalwegmessung anwenden.

20

Hier kann in regelmäßigen Abständen, oder jeweils kurz bevor R_A benötigt wird (Positions-Reinitialisierung) mit der oben beschriebenen Methode eine Rekalibrierung vorgenommen werden.

Aufgrund des Zusammenganges:

25

$$n \propto I_{ind} = \frac{U}{R_A} - I$$

30

Kann bei bekanntem Ankerwiderstand R_A der Bewegungszustand des Kupplungsaktors am Motorstrom erkannt werden. Dabei ist dieses Signal unabhängig von der angelegten Motorspannung. Nur bei starken Stromänderungen I wird das Signal ein wenig durch die Ankerinduktivität beeinflusst.

Damit kann der Stillstand des Motors erkannt werden. Die Bestimmung der Position erfolgt an einem Anschlag.

- 5 Es können Geschwindigkeitsänderungen des E-Motors gemessen werden. Es können daher Rastierungen oder „weiche“ Anschläge erkannt werden.

Die Verwendung dieses Signals (I_{ind}) ermöglicht es sogar eine Notlaufstrategie bei Ausfall des Inkrementalweggebers zu entwickeln.

10

Da die Messung von R_A benötigt wird, um Änderungen von R_A zu kompensieren können damit auch indirekt die Ursachen für diese Änderungen gemessen werden.

15

Durch die Messung von R_A kann auf die Motortemperatur zurückgeschlossen werden. Zumindest kann die Spannung bei bekanntem R_A so gewählt werden, dass sich der gewünschte Strom, und damit das gewünschte Moment am Motor ergibt. (Dies wäre für die Schaltmotoren von Interesse, hier muss aber die Methode zur Messung des Ankerwiderstandes angepasst werden, da man hier kein selbsthemmendes Getriebe hat.)

20

Nachfolgend wird ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Adaption der Reaktionszeit eines Kupplungsaktors erläutert.

25

Das Verfahren dient dazu, die temperaturabhängige Verzögerung beim Hochlaufen des Kupplungsaktors zu identifizieren und zu adaptieren, um die Reproduzierbarkeit von ASG-Schaltabläufen zu verbessern.

30

Ein optimaler Schaltablauf beim ASG erfordert eine präzise Abstimmung von Motoreingriff, Kupplungs- und Getriebeverstellung. Nur so kann dem Fahrer (Beifahrer) der bestmögliche Schaltkomfort in gleichbleibender

Qualität geliefert werden. Besonders wichtig sind die Überschneidung von Kupplung und Schaltung sowie der Übergang vom Haften zum Schlupf beim Momentenabbau.

5 Da die elektromotorischen Aktoren aber über der Temperatur ihre Kennlinie und auch das Ansprechverhalten (mechanische Reaktionszeit) ändern, kann die optimale Abstimmung durch schwankende Betriebstemperaturen gestört werden. Dies gilt insbesondere beim Getriebeanbau des Kupplungsaktors, wo auf Grund der Massenträgheit je nach Temperatur Reaktionszeiten zwischen 35 und 70 ms zu erwarten sind.

10 Um diesen Effekt auszugleichen, wird eine Strategie zur Identifikation und Adaption der Reaktionszeit des Kupplungsaktors vorgeschlagen. Bei Standardprozeduren wie z.B. den Schüffelrampen oder auch speziellen Testrampen während der Momentennachführung wird die Zeit gemessen, die vom Auslösen der Aktion bis zum Erreichen einer definierten Wegdifferenz vergeht.

15 Im folgenden wird näher auf die im Zusammenhang mit der Zeitkonstanten des Kupplungsaktors bestehende Problematik eingegangen.

Zunächst werden der physikalische Hintergrund und die Temperaturabhängigkeit erläutert.

25 Der Elektromotor im Kupplungsaktor ist ein träges Element, weil nach Zuschaltung einer elektrischen Spannung

- sich der Strom und damit verbunden die elektromagnetische Kraft gegen die Induktivität der Wicklung aufbaut
- 30 - und weil die der Spannung entsprechende Drehzahl erst nach Beschleunigen der Drehmasse des Ankers erreicht wird.

Die mechanische Trägheit überwiegt dabei, die elektromagnetische Trägheit kann vernachlässigt werden.

Unter unveränderlichen Einsatzbedingungen kann man die mechanische Trägheit mittels einer Zeitkonstante T_{Aktor} (Reaktionszeit) quantifizieren, welche sich aus den Größen

- J_{Anker} ... Ankerträgheit
- n_{Leer} ... Leerlaufdrehzahl
- M_{Anzug} ... Anzugs-Drehmoment

nach folgender Gleichung berechnet:

$$T_{\text{Aktor}} = \frac{J_{\text{Anker}} \cdot n_{\text{Leer}}}{M_{\text{Anzug}}}$$

In Praxis verändern sich jedoch die Einsatzbedingungen, insbesondere die Umgebungstemperatur ϑ des Kupplungsaktors, und damit verändern sich auch Leerlaufdrehzahl und Anzugsmoment des E-Motors. Folgende Gesetzmäßigkeiten gelten:

$$\frac{dn_{\text{Leer}}}{d\vartheta} > 0$$

$$\frac{dM_{\text{Anzug}}}{d\vartheta} < 0$$

$$\boxed{\frac{dT_{\text{Aktor}}}{d\vartheta} \approx \frac{35\text{ms}}{100^\circ} > 0}$$

Im warmen Betriebszustand ist Reaktionszeit T_{Aktor} ungefähr doppelt so hoch wie im kalten.

Neben den Änderungen über der Temperatur werden sich die Kennwerte auch von Aktor zu Aktor unterscheiden, da Produktionstoleranzen von $\pm 15\%$ möglich sind. Ferner haben die Kupplungs-Ausrückkraft und der Wirkungsgrad des Ausrücksystems einen Einfluss auf das Hochlauf- und Verstellverhalten, da nur der überschüssige Kraftanteil für die Beschleunigung des Ankers zur Verfügung steht.

Beeinflussung der ASG-Schaltungen

Bei einer automatisierten Schaltung kommt es darauf an, Kupplungs- und

- 5 Getriebeaktor sowie den Eingriff am Verbrennungsmotor optimal aufeinander abzustimmen, insbesondere

- um beim Momentenabbau den Schlupfbeginn (Kupplungsmoment wird kleiner als Motormoment) zu definieren, und
 - um nach dem Gangwechsel ohne unnötigen Zeitverlust mit dem
- 10 Momentenaufbau zu beginnen.

Optimal sind ohne Pause ineinander übergehende Vorgänge (siehe Figur 9) oder sogar leichte Überschneidungen.

- 15 Die Reaktionszeit T_{Aktor} ist ein Maß dafür, mit welchem Zeitverzug der Motor einer Sollwegvorgabe folgen kann. Sofern die Sollwegvorgabe nicht als Sprung erfolgt, sondern als Rampe mit einem Gradienten unterhalb der möglichen Geschwindigkeit des E-Motors, laufen Soll- und Istweg des Kupplungsaktors mit dem implementierten Lageregler zeitlich nahezu parallel, im Abstand der
- 20 Reaktionszeit. Wie man aus den Zeitverläufen die aktuelle Reaktionszeit T_{Aktor} grafisch ermitteln kann, zeigt Figur 10.

Mit der Reaktionszeit des Kupplungsaktors ändern sich auch die in Figur 9 gezeigten zeitlichen Abstimmungen der beteiligten Aktoren und die subjektive

- 25 Schaltbewertung durch den Fahrer bzw. Beifahrer könnte sich ebenfalls ändern.

Im folgenden wird erläutert, wie die Adaption der Reaktionszeit als Steuerungsvariable erfolgen kann.

- 30 Die Grundidee besteht dabei darin, die Reaktionszeit des Kupplungsaktors als Steuerungsvariable zu benutzen und ihren Wert zu adaptieren. Dadurch kann die

Koordination von Kupplungs-, Getriebe- und Motoreingriff reproduzierbarer gestaltet und insgesamt kann die Schaltqualität erhöht werden.

Adaption durch Beobachten von Standardvorgängen

5

Die Reaktionszeit soll ermittelt und adaptiert werden, indem bei Standardvorgängen mit verhältnismäßig großen Sollwegänderungen die Zeit bis zum Erreichen einer Mindestverstellung ermittelt wird. Folgende Situationen bieten sich z.B. an:

10

- Schnüffelrampe => Sollsprung aus Ruhe oder sehr langsamer Bewegung zur Schnüffelposition (sofern der Motor nicht aus Geräuschgründen gedrosselt wird)
- Wiedereinkuppeln nach Schaltung, wobei der Sollweg zunächst von der Maximalposition (Hub) sehr schnell zurückgenommen wird.

15

- Sprung der Kupplungsvorgabe bei Schaltabsicht, wo ein Sollwertsprung des Kupplungsmomentes von Momentennachführung mit Rutschsicherheit auf das aktuelle Motormoment erfolgt.

20

Da mit dem Schnüffeln auch ein Temperatureffekt kompensiert wird, reicht z.B. die Schnüffelhäufigkeit als Adaptionshäufigkeit für die Reaktionszeit des Aktors aus. Sehr wahrscheinlich würden wegen der großen Masse respektive Wärmekapazität des Kupplungsaktors auch größere Zeitabstände genügen.



25

Figur 11 zeigt einen möglichen Ablauf der Reaktionszeitadaption.

Folgende Variablen werden dabei verwendet:

30

- ADP_RZEIT_ANF ... Anforderung der Reaktionszeitadaption?
- ADP_RZEIT ... Reaktionszeitadaption aktiv?
- ADP_RZEIT_INI ... Initialisieren der Reaktionszeitadaption?
- K0_ADP_RZEIT ... Kupplungssollweg bei Initialisierung

- K1_ADP_RZEIT ... Istwegschwelle für Ende (Applikationsparameter)
- T_ADP_RZEIT ... Zeitzähler der Reaktionszeitadaption
- K_RZEIT ... Reaktionszeit
- ΔT ... Interruptzeit der Routine
- 5 • K_SOLL ... Kupplungssollweg
- K_IST ... Kupplungsisweg

Im folgenden werden Erläuterungen zur Figur 11 gegeben.

15

Die Variable ADP_RZEIT_ANF wird auf „1“ gesetzt, wenn eine neue Adaption angefordert werden soll. Hierfür kann z.B. ein Zeitzähler wie beim Schnüffeln benutzt werden (nicht in Figur 11 gezeigt). Die Variable ADP_RZEIT_INI wird unabhängig davon auf „1“ gesetzt, sobald eine der Standardsituationen, die für die Reaktionszeitadaption genutzt werden, ausgelöst wird. Beispielsweise muss dies in einem anderen Programmteil bei Beginn des Schnüffeln geschehen (nicht in Figur 11 gezeigt). Sind beide Variablen auf „1“, so wird die Reaktionszeitadaption initialisiert, indem die Anfangswerte für KO_ADP_RZEIT und T_ADP_RZEIT gesetzt sowie das Initialisierungsflag zurück und das Aktivflag ADP_RZEIT auf „1“
25 gesetzt werden.

25

Solange die Adaption aktiv ist, wird zunächst immer abgefragt, ob die Sollwertvorgabe bezogen auf den Ausgangswert bei Initialisierung die Schwelle K1_ADP_RZEIT bereits überschritten hat und abhängig davon wird der Zeitzähler
30 hochgesetzt oder auf Null belassen.

30

Die Austrittsbedingung ist erfüllt, wenn der Kupplungsweg-Istwert sich um die vorgegebene Schwelle K1_ADP_RZEIT geändert hat. Dann wird der letzte Wert des Zeitzählers als Reaktionszeit des Kupplungsaktors übernommen (eventuell kann auch gewichtet werden mit dem letzten Wert, um Fehladaptationen auszuschließen) und das ADP_RZEIT zurück auf den Wert „0“ gesetzt.

Adaption durch Anstoßen spezieller Kupplungsweg-Prozeduren

10 Solange die Momentennachführung erfolgt, hat der Kupplungsaktor eine Wegreserve zwischen maximalem Kupplungsrutschmoment (Schnüffeln) und dem aktuellen Motormoment. Innerhalb dieses Bereiches können ohne Beeinträchtigung des Fahrkomforts Bewegungen des Kupplungsaktors und damit auch des Ausrücklagers vorgenommen werden. Die Idee ist nun, ähnlich wie bei 15 den Rutschtests spezielle Rampen des Kupplungsaktors anzustoßen (siehe Figur 12), die reproduzierbar sind und somit gut vergleichbare Adaptionsergebnisse liefern.

Die Durchführung der Adaption würde wie oben unter „Adaption durch 20 Beobachten von Standardvorgängen“ beschrieben ablaufen, nur dass bei ADP_RZEIT_ANF = 1 und Momentennachführung (vorzugsweise im Bereich des Mindestmomentes) die Adaptionssrampe angestoßen und dabei ADP_RZEIT_INI = 1 gesetzt wird.

25 Die mit der Anmeldung eingereichten Patentansprüche sind Formulierungsvorschläge ohne Präjudiz für die Erzielung weitergehenden Patentschutzes. Die Anmelderin behält sich vor, noch weitere, bisher nur in der Beschreibung und/oder Zeichnungen offenbarte Merkmalskombination zu beanspruchen.

30

Die Ausführungsbeispiele sind nicht als Einschränkung der Erfindung zu verstehen. Vielmehr sind im Rahmen der vorliegenden Offenbarung zahlreiche

Abänderungen und Modifikationen möglich, insbesondere solche Varianten, Elemente und Kombinationen und/oder Materialien, die zum Beispiel durch Kombination oder Abwandlung von einzelnen in Verbindung mit den in der allgemeinen Beschreibung und Ausführungsformen sowie den Ansprüchen

- 5 beschrieben und in den Zeichnungen enthaltenen Merkmalen bzw. Elementen oder Verfahrensschritten für den Fachmann im Hinblick auf die Lösung der Aufgabe entnehmbar sind und durch kombinierbare Merkmale zu einem neuen Gegenstand oder zu neuen Verfahrensschritten bzw. Verfahrensschrittfolgen führen, auch soweit sie Herstell-, Prüf- und Arbeitsverfahren betreffen.

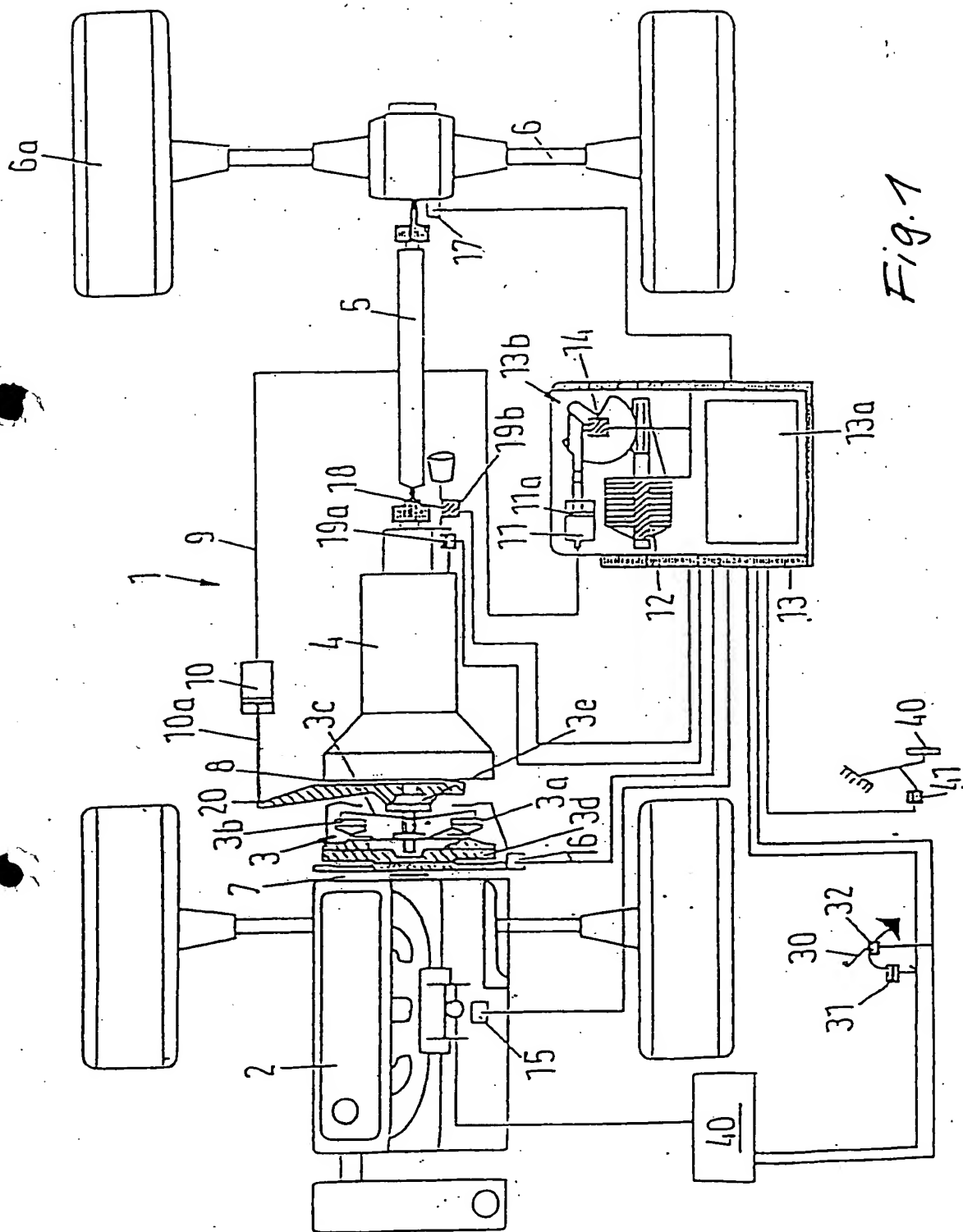
LuK Lamellen und Kupplungsbau
Beteiligungs KG
Industriestraße 3
77815 Bühl

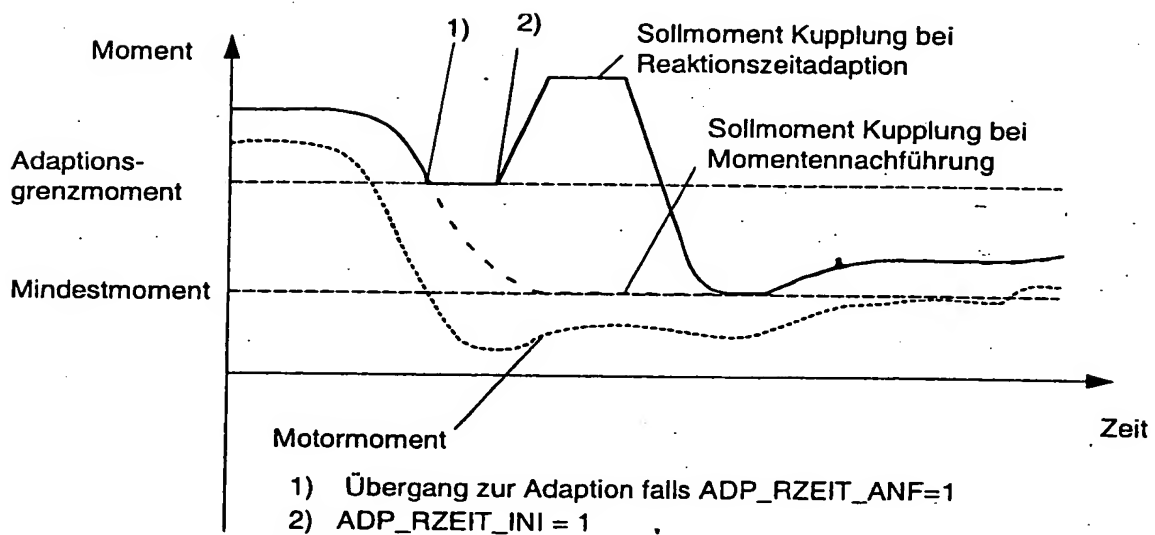
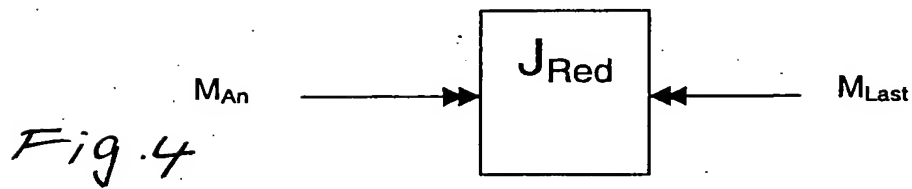
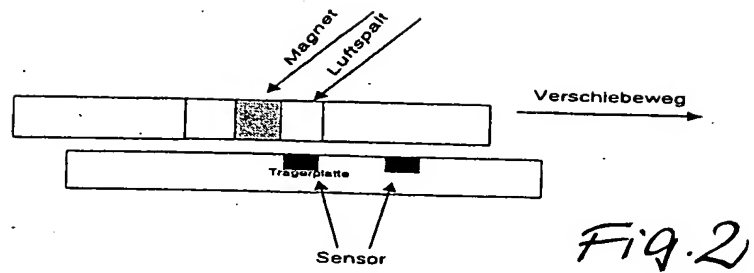
GS 0551

Zusammenfassung

5

Es werden ein Verfahren, eine Vorrichtung und deren Verwendung zum Betrieb eines Kraftfahrzeuges, insbesondere zum Messen verschiedener Meßgrößen, wie z.B. des Drehwinkels in Schwingungstilgern, vorgeschlagen.





Adaptionsrampe während Momentennachführung

Fig. 12

Schwankung des Kupplungs-istmomentes aufgrund Ausrücker Auflösung

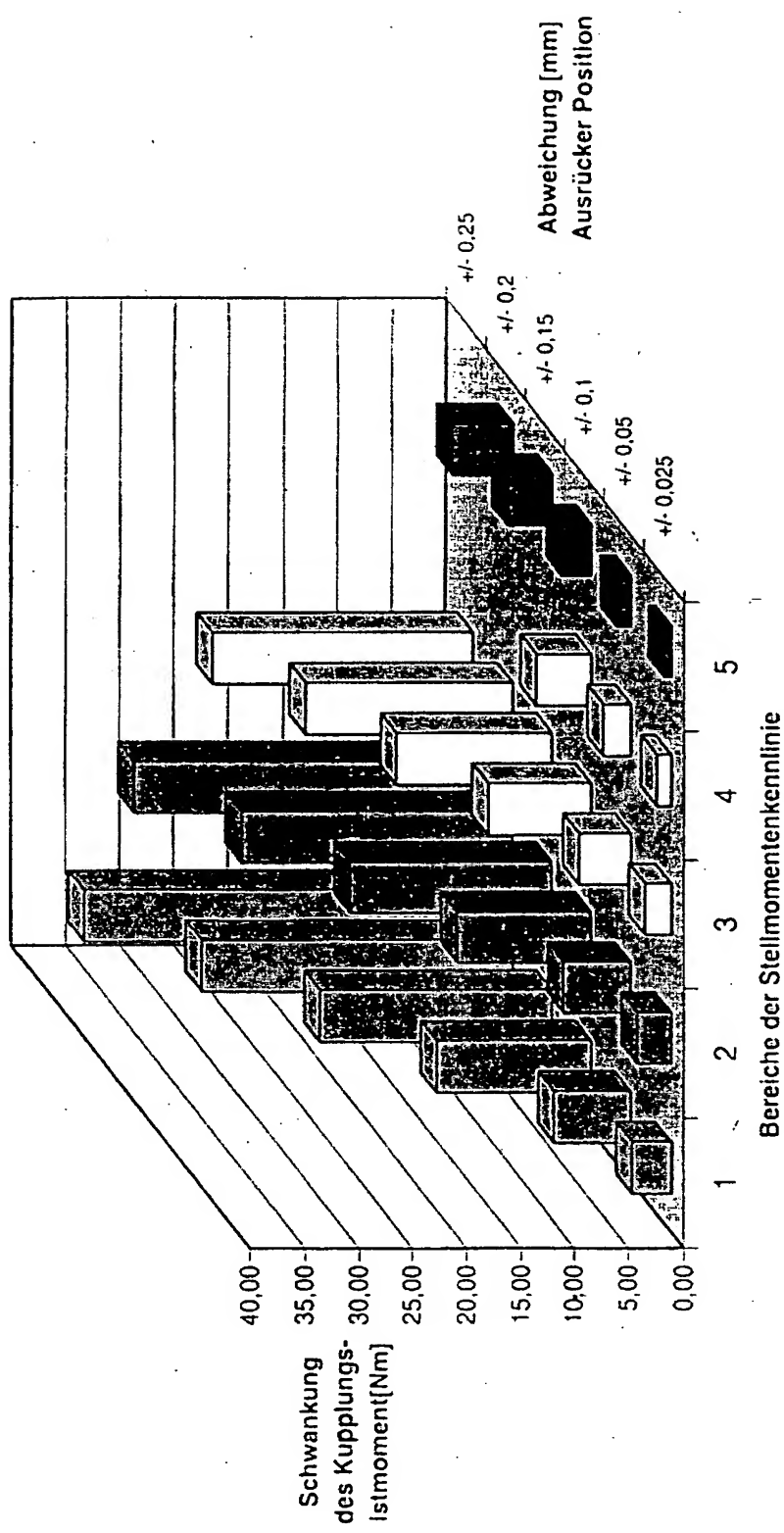


Fig. 3

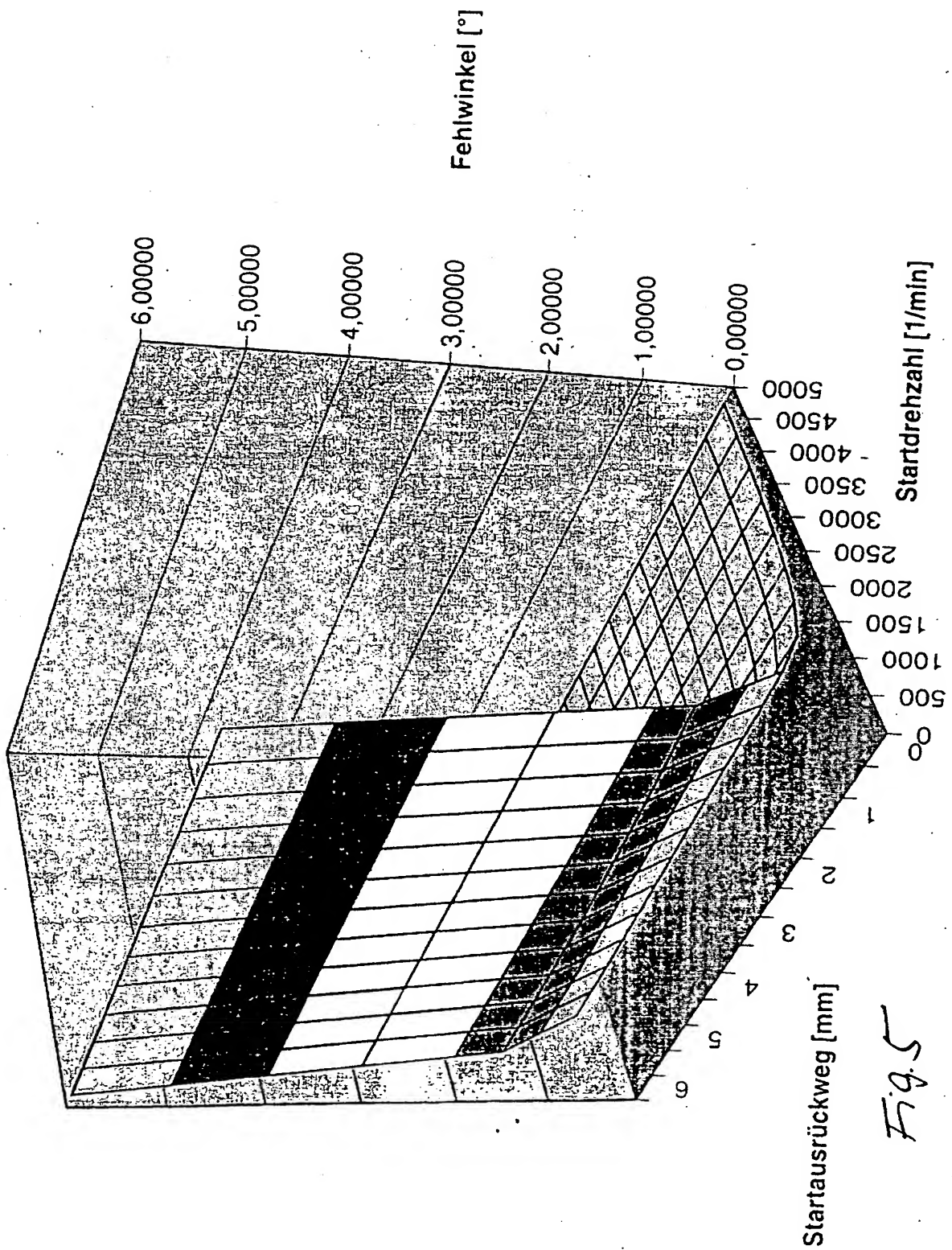


Fig. 5

Fehlwinkel durch Vernachlässigung des Temperatureinflusses auf das Motor Moment

Kupplung = 5,8 mm und I Getriebe = 1 mit JG+M = 74 Kgmm² . Hall_Auflösung 6°

Motor Kennlinie 120° statt 20°C

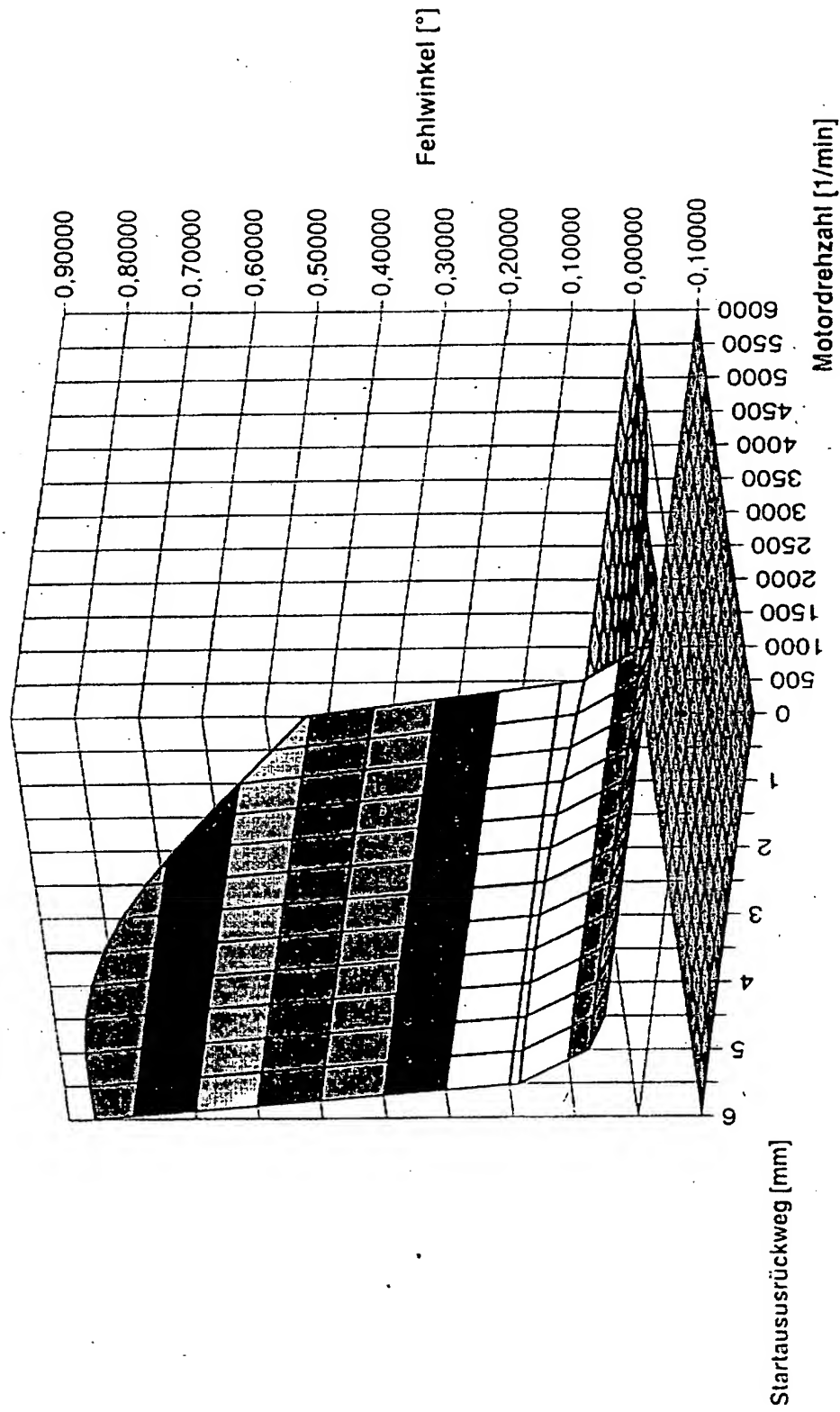


Fig. 6

Fehlwinkel durch Fehlschätzung der Magnettemperatur mittels Statorwiderstand von 30°C

Kupplung = 5,8 mm und i Getriebe = 1 mit Jg.M = 74 Kgmm². Hall_Auflösung 6°

Motor Kennlinie 120° statt 150°C

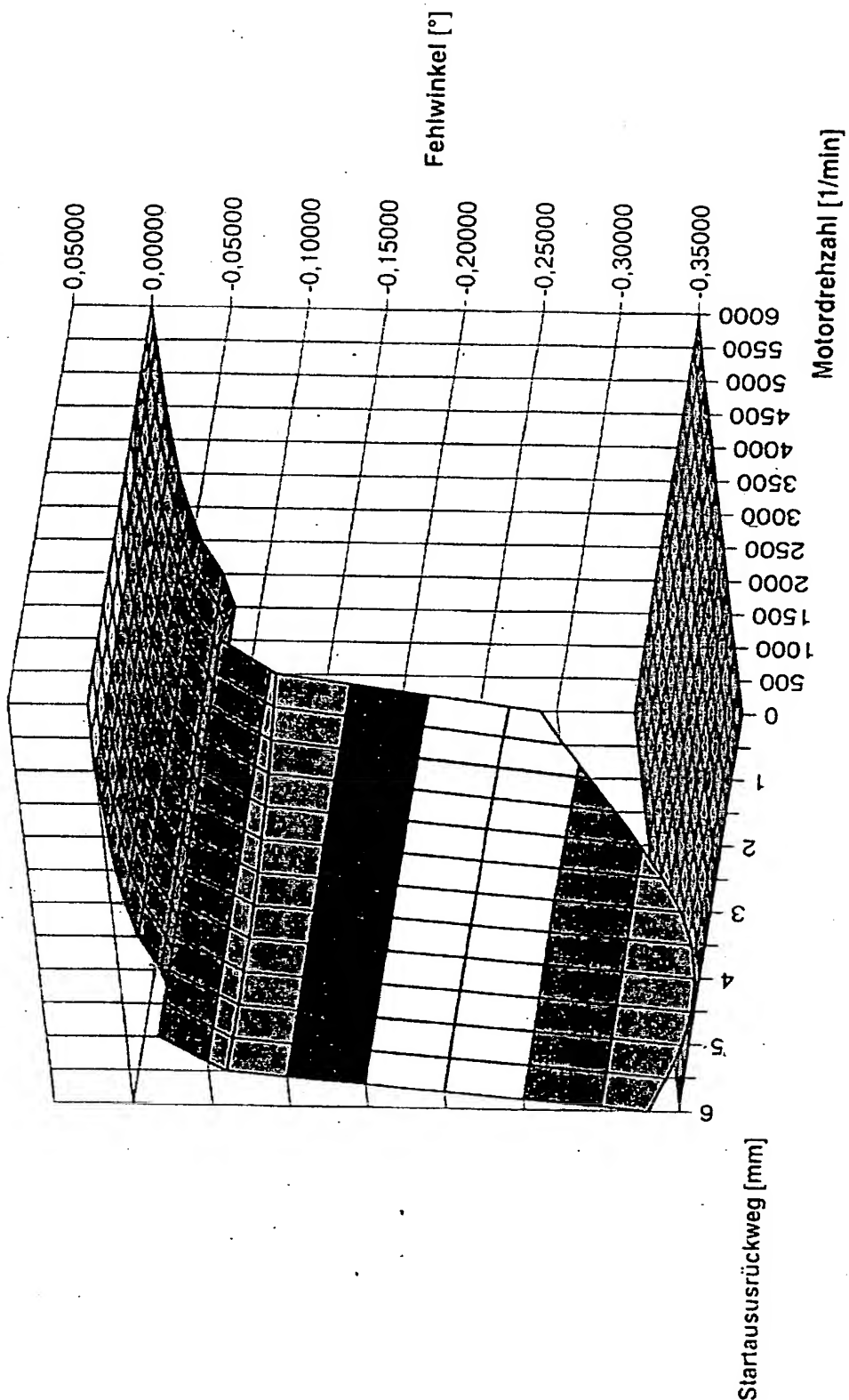


Fig. 7

Maximaler Fehlwinkel durch 5% geringere Ausrückkraft und 2% besseren Getriebe Wirkungsgrad

und 30°C Fehlschätzung der Magnettemperatur

Kupplung = 5,8 mm und I Getriebe = 1 mit $J_{G+M} = 111 \text{ Kgmm}^2$. Hall_Auflösung 6°

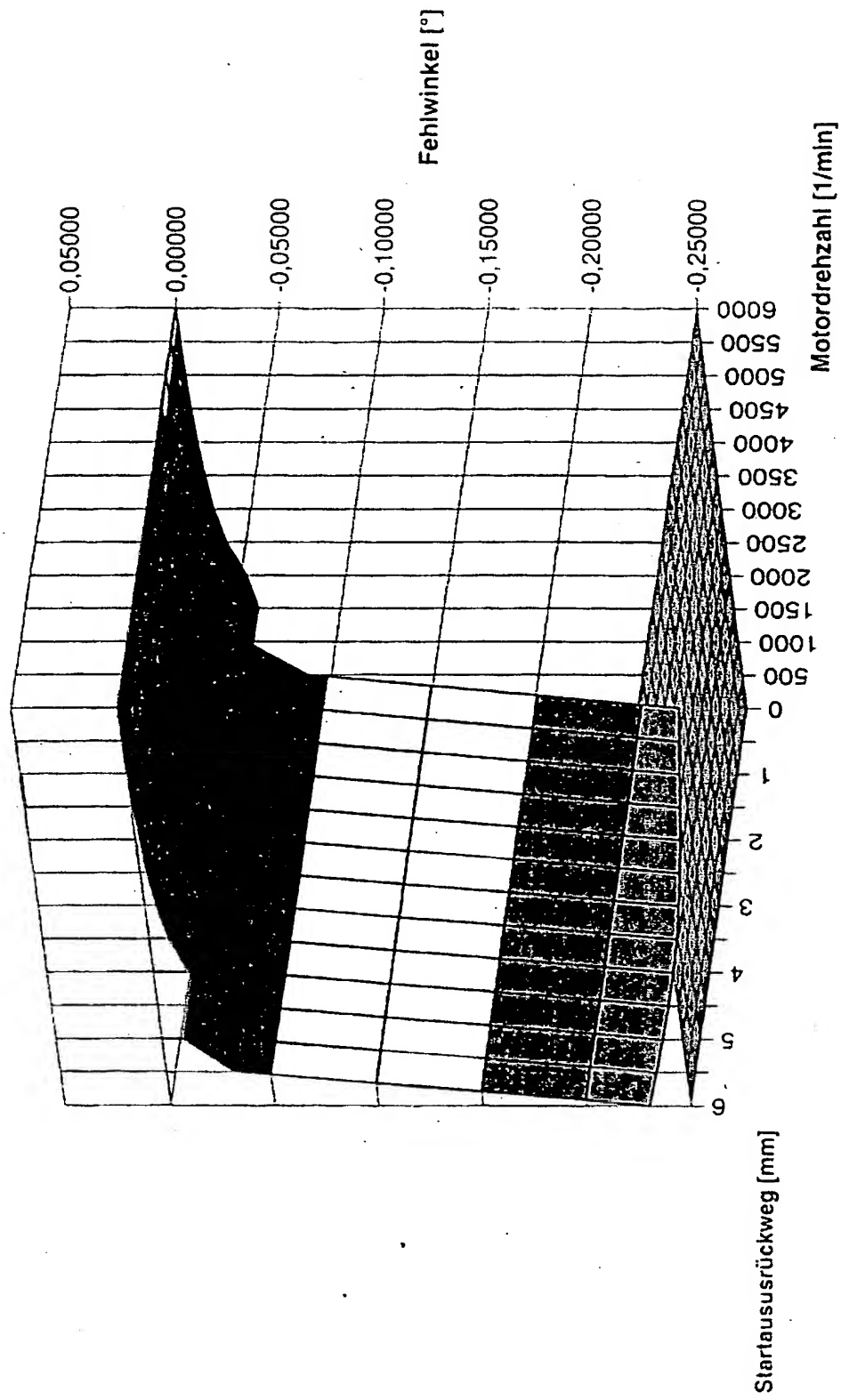
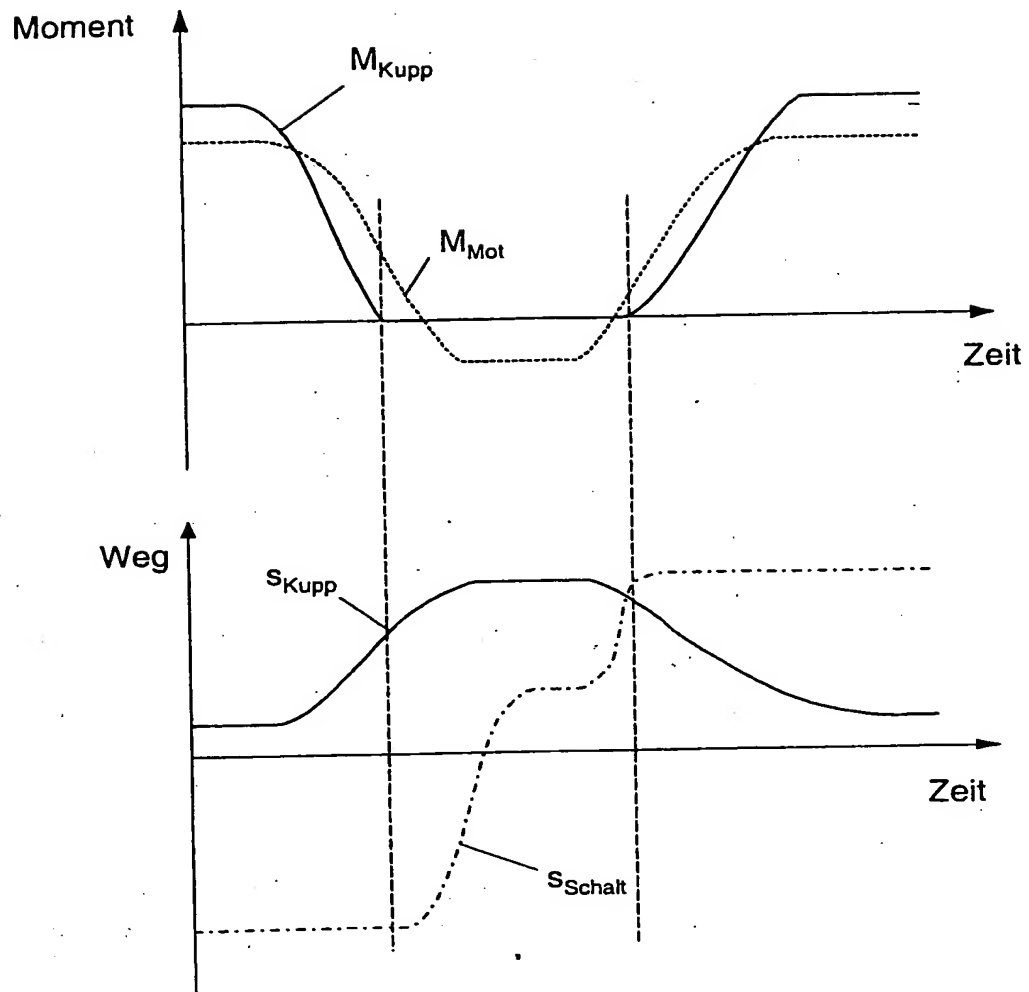
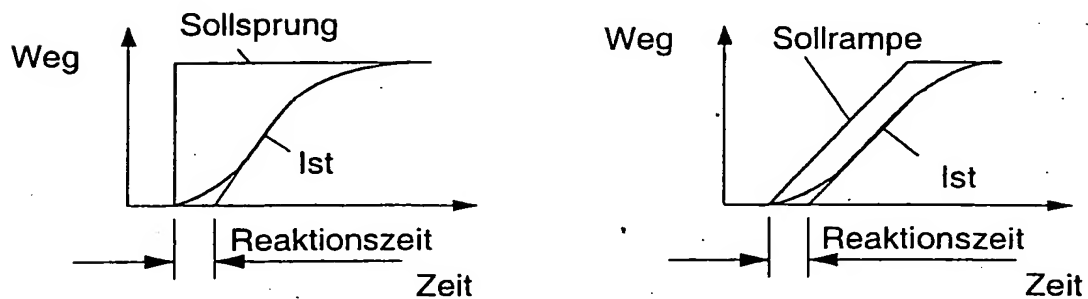


Fig. 8



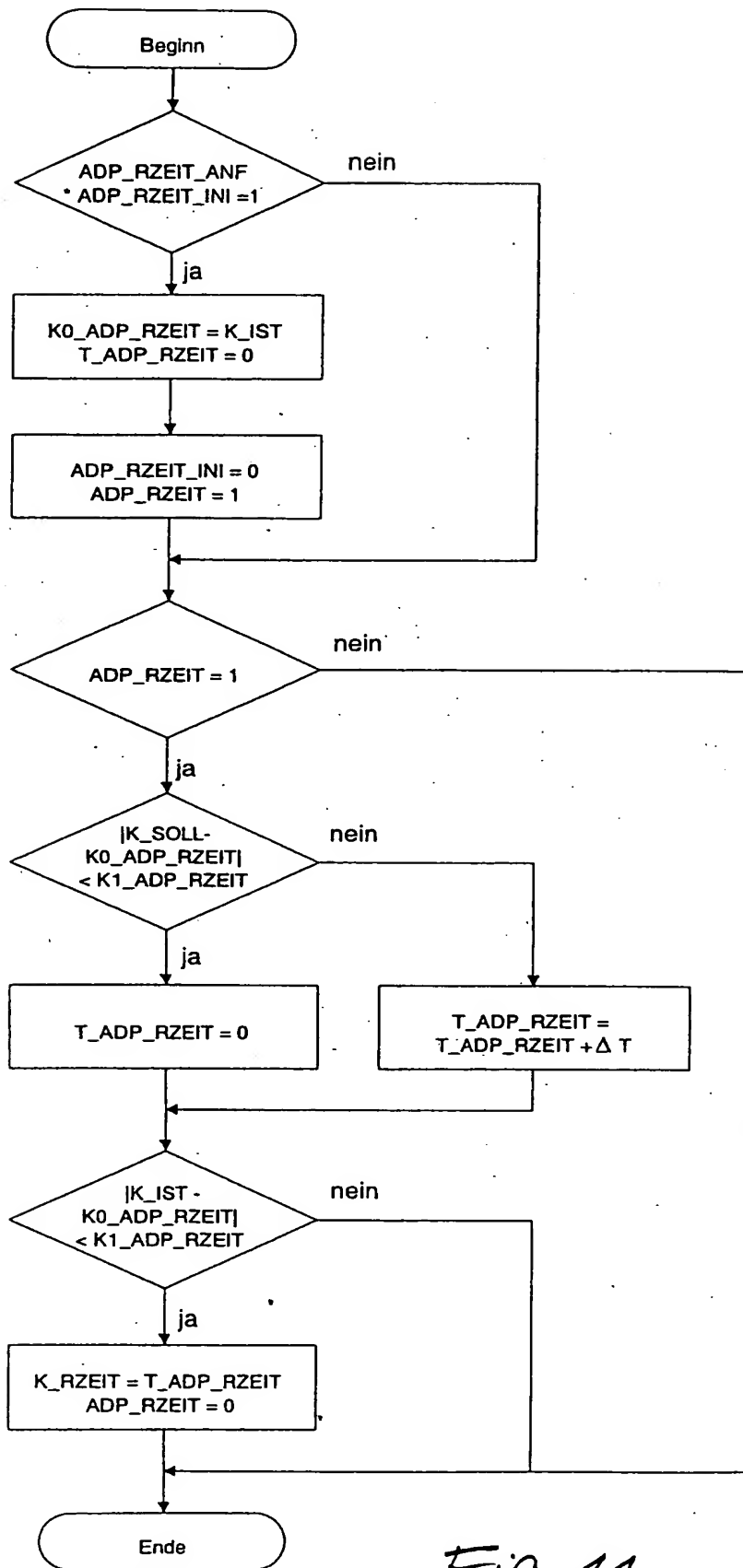
Koordination von Kupplung, Getriebe und Motor bei ASG-Schaltung

Fig. 9



Antwortverhalten E-Motor im Kupplungsaktor und Ermittlung der Reaktionszeit T_{Aktor}

Fig. 10



Ablauf der Reaktionszeitadaption

Fig. 11